

**IMPIANTO EOLICO ACQUAVIVA COLLECROCE**

**(Comuni di Acquaviva Collecroce (CB), Palata (CB), San Felice del Molise (CB), Castelmauro (CB), Tavenna (CB) e Montecilfone (CB))**

**Relazione impatto elettromagnetico**

Il Tecnico  
Ing. Leonardo Sblendido

File: GRE.EEC.R.73.IT.W.15235.10.005.05\_Relazione impatto elettromagnetico.pdf

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
05	21/06/2022	EMISSIONE PER ITER AUTORIZZATIVO	C. Nicoletti	E. Speranza	L. Sblendido
04	23/05/2022	Aggiornamento commenti EGP	C. Nicoletti	E. Speranza	L. Sblendido
03	11/11/2021	Aggiornamento commenti EGP	S.Quintero	E.Speranza	L.Sblendido
02	15/07/2021	Aggiornamento commenti EGP	GL.Dattolo	GL.Dattolo	L.Sblendido
01	03/06/2021	Aggiornamento commenti EGP	GL.Dattolo	GL.Dattolo	L.Sblendido
00	11/12/2020	Prima emissione	GL.Dattolo	GL.Dattolo	L.Sblendido

**ENEL VALIDATION**

A.Provasi	M.Porcellini	L.Iacofano
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT ACQUAVIVA COLLECROCE EO	ENEL CODE																		
	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION							
	EGP	EEC	R	7	3	I	T	W	1	5	2	3	5	1	0	0	0	5	0

CLASSIFICATION	UTILIZATION SCOPE
----------------	-------------------

## INDICE

1. INTRODUZIONE .....	3
2. RIFERIMENTI NORMATIVI .....	4
3. COMPATIBILITA' ELETTROMAGNETICA .....	5
4. CAMPO ELETTROMAGNETICO .....	6
5. CAMPO ELETTRICO .....	7
6. CAMPO MAGNETICO .....	8
6.1. FASCIA DI RISPETTO E DISTANZA PRIMA APPROSSIMAZIONE (DPA) .....	9
6.2. METODOLOGIA DI CALCOLO E SOFTWARE UTILIZZATO .....	9
6.3. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI PER I CAVIDOTTI DI MEDIA TENSIONE .....	10
6.4. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI PER IL CAVIDOTTO ALTA TENSIONE .....	18
7. CONCLUSIONI .....	22

## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione si riferisce allo studio di impatto elettromagnetico per il parco eolico proposto da Enel Green Power S.p.A. costituito da N.10 aerogeneratori, ricadenti nei territori comunali di Acquaviva Collecroce (CB), Castelmauro (CB), Palata (CB), San Felice del Molise (CB), Tavenna (CB) e Montecilfone (CB).

La potenza nominale del singolo aerogeneratore è pari a 6 MW, per una potenza nominale complessiva di 60 MW da immettere in rete. L'energia elettrica prodotta sarà convogliata dall'impianto alla Sottostazione multiutente di trasformazione 150/33 kV, ubicata nel Comune di Montecilfone (CB), mediante cavi interrati di tensione 33 kV.

Progetto Acquaviva Collecroce	
Numero Turbine	10
Potenza Installata	60 MW
Potenza Nominale Turbina	6 MW
Altezza Mozzo	115 m
Tensione sistema MT	33 kV
Tensione Sistema AT	150 kV

**Tabella 1. Dettagli del progetto Acquaviva Collecroce**

L'impianto eolico Acquaviva Collecroce è composto da:

- N° 10 WTGs da 6MW;
- Cavidotto MT a 33kV di connessione tra WTGs e SSE. I cavi saranno del tipo ARE4H5E 18/30(36) kV di sezione variabile. I cavi sono direttamente interrati a profondità di 1m e distanziati di almeno 20cm, come da specifica tecnica.
- SSE 150/33kV con stallo trasformatore elevatore 52/66 MVA ONAN/ONAF e componentistica AT a 170kV:
- Cavidotto AT a 150 kV con cavo in rame XLPE.

L'impianto sarà suddiviso in 4 Clusters così suddivisi:

Linea	Da	A
<b>Cluster 1</b>		
Line 1	Quadro MT_step-up station 150/33kV	WTG1
Line 2	WTG1	WTG9
<b>Cluster 2</b>		
Line 3	Quadro MT_step-up station 150/33kV	WTG3
Line 4	WTG3	WTG2
<b>Cluster 3</b>		
Line 5	Quadro MT_step-up station 150/33kV	WTG10
Line 6	WTG10	WTG4
Line 7	WTG4	WTG8
<b>Cluster 4</b>		
Line 8	Quadro MT_step-up station 150/33kV	WTG5
Line 9	WTG5	WTG6
Line 10	WTG6	WTG7

**Tabella 2. Configurazione Clusters dell'impianto**

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI

- D.M. del 29 maggio 2008
- Norma CEI 106-11 (Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del D.P.C.M. 8 luglio 2003 (art.6))
- D.P.C.M. del 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti".
- Legge n.36 del 22 febbraio 2001 - Decreto Interministeriale del 21 marzo 1988 n.449
- EMC 2014/30/UE
- Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici. Volume 2: Studi di casi, Commissione Europea
- DL 179/2012

- D.P.C.M. del 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz"
- CEI 211-7 (Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz - 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana)

### 3. COMPATIBILITA' ELETTROMAGNETICA

Il D.P.C.M. 8 luglio 2003 fissa i limiti di esposizione e valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento ed all'esercizio degli elettrodotti, in particolare:

- **Art.3 comma 1:** nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100  $\mu$ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.
- **Art.3 comma 2:** a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10  $\mu$ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.
- **Art.4 comma 1:** Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3  $\mu$ T per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio. Lo stesso DPCM, all'art 6, fissa i parametri per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, per le quali si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità ( $B=3\mu$ T) di cui all'art. 4 sopra richiamato ed alla portata della corrente in servizio normale. L'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (Metodologie di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti) definisce quale fascia di rispetto lo spazio circostante l'elettrodotto, che comprende tutti i punti al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

*Ai fini del calcolo della fascia di rispetto si omettono verifiche del campo elettrico, in quanto nella pratica questo determinerebbe una fascia (basata sul limite di esposizione, nonché valore di attenzione pari a 5kV/m) che è sempre inferiore a quella fornita dal calcolo dell'induzione magnetica. Pertanto, obiettivo dei paragrafi successivi sarà quello di calcolare le fasce di rispetto dagli elettrodotti del progetto in esame, facendo riferimento alla normativa vigente ed in particolare al limite di qualità di 3  $\mu$ T.*

#### 4. CAMPO ELETTROMAGNETICO

I campi elettromagnetici sono un insieme di grandezze fisiche misurabili, introdotte per caratterizzare un insieme di fenomeni osservabili indotti senza contatto diretto tra sorgente ed oggetto del fenomeno, vale a dire fenomeni in cui è presente un'azione a distanza attraverso lo spazio. Esso è composto in generale da campi vettoriali: il campo elettrico, il campo magnetico. Questo significa che i vettori che caratterizzano il campo elettromagnetico hanno ciascuno un valore definito in ciascun punto del tempo e dello spazio. I vettori che modellizzano le grandezze introdotte nella definizione del modello fisico dei campi elettromagnetici sono quindi: E. Campo elettrico, B. Campo di induzione magnetica, D. spostamento elettrico o induzione dielettrica, H. Campo magnetico.

L'esposizione umana ai campi elettromagnetici è una problematica relativamente recente che assume notevole interesse con l'introduzione massiccia dei sistemi di telecomunicazione e dei sistemi di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. In realtà anche in assenza di tali sistemi siamo costantemente immersi nei campi elettromagnetici per tutti quei fenomeni naturali riconducibili alla natura elettromagnetica, primo su tutti l'irraggiamento solare. Per quanto concerne i fenomeni elettrici si fa riferimento al campo elettrico, il quale può essere definito come una perturbazione di una certa regione spaziale determinata dalla presenza nell'intorno di una distribuzione di carica elettrica. Per i fenomeni di natura magnetica si fa riferimento ad una caratterizzazione dell'esposizione ai campi magnetici, non in termini del vettore campo magnetico, ma in termini di induzione magnetica, che tiene conto dell'interazione con ambiente ed i mezzi materiali in cui il campo si propaga. Dal punto di vista macroscopico ogni fenomeno elettromagnetismo è descritto dall'insieme delle equazioni di Maxwell. La normativa attualmente in vigore disciplina in modo differente i valori ammissibili di campo elettromagnetico, distinguendo così i "campi elettromagnetici quasi statici" ed i "campi elettromagnetici a radio frequenza". Nel caso dei campi quasi statici, campi generate dell'impianto a 50Hz, ha senso ragionare separatamente sui fenomeni elettrici e magnetici e ha quindi anche senso imporre separatamente dei limiti normativi alle intensità del campo elettrico e dell'induzione magnetica. Il modello quasi statico è applicato per il caso concreto della distribuzione di energia, in relazione alla frequenza di distribuzione dell'energia della rete che è pari a 50Hz. In generale gli elettrodotti dedicati alla trasmissione e distribuzione di energia elettrica sono percorsi da correnti elettriche di intensità diversa, ma tutte alla frequenza di 50Hz, e quindi tutti i fenomeni elettromagnetici che li vedono come sorgenti possono essere studiati correttamente con il modello per campi quasi statici. Gli impianti per la produzione e la distribuzione dell'energia elettrica alla frequenza di 50 Hz, costituiscono una sorgente di campi elettromagnetici nell'intervallo 30-300 Hz. A seguire si riporta la tabella di sintesi dello spettro elettromagnetico.

DENOMINAZIONE		SIGLA	FREQUENZA	LUNGHEZZA D'ONDA
FREQUENZE ESTREMAMENTE BASSE		ELF	0 - 3kHz	> 100Km
FREQUENZE BASSISSIME		VLF	3 - 30kHz	100 - 10Km
RADIOFREQUENZE	FREQUENZE BASSE (ONDE LUNGHE)	LF	30 - 300kHz	10 - 1Km
	MEDIE FREQUENZE (ONDE MEDIE)	MF	300kHz - 3MHz	1Km - 100m
	ALTE FREQUENZE	HF	3 - 30MHz	100 - 10m
	FREQUENZE ALTISSIME (ONDE METRICHE)	VHF	30 - 300MHz	10 - 1m
MICROONDE	ONDE DECIMETRICHE	UHF	300MHz - 3GHz	1m - 10cm
	ONDE CENTIMETRICHE	SHF	3 - 30GHz	10 - 1cm
	ONDE MILLIMETRICHE	EHF	30 - 300GHz	1cm - 1mm
INFRAROSSO		IR	0,3 - 385THz	1000 - 0,78mm
LUCE VISIBILE			385 - 750THz	780 - 400nm
ULTRAVIOLETTO		UV	750 - 3000THz	400 - 100nm
RADIAZIONI IONIZZANTI		X	> 3000THz	< 100nm

**Tabella 3. Spettro elettromagnetico**

## 5. CAMPO ELETTRICO

Il campo elettrico è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della sorgente; esso si attenua, allontanandosi da un elettrodotto, come l'inverso della distanza dai conduttori. I valori efficaci delle tensioni di linea variano debolmente con le correnti che le attraversano; l'intensità del campo elettrico può considerarsi, in prima approssimazione, costante. La presenza di alberi, oggetti conduttori o edifici in prossimità delle linee riduce l'intensità del campo elettrico, e in particolare all'interno degli edifici, si possono misurare intensità di campo fino a 10 (anche 100) volte inferiori a quelle rilevabili all'esterno. L'andamento e il valore massimo delle intensità dei campi dipenderanno significativamente dalla disposizione dei conduttori. In generale l'intensità del campo elettrico è inversamente proporzionale dalla sorgente di cariche.

Nell'ambito della media tensione in corrente alternata: gli strati di isolamento dei cavi, la disposizione dei cavi e la loro modalità di posa, attenuano considerevolmente il campo elettrico. Inoltre in aggiunta ai punti precedenti, il campo elettrico risulta ulteriormente ridotto per l'effetto combinato dovuto alla speciale guaina metallica schermante del cavo MT ed alla presenza del terreno che presenta una conducibilità elevata.

I precedenti accorgimenti, consentono il rispetto della normativa, in particolare per i cavidotti MT realizzati con cavi MT schermati aventi struttura elicoidale ed interrati ad un metro di profondità, per la frequenza di 50 Hz, risultano attraverso prove sperimentali praticamente nulli.

È da precisare che il campo elettrico generato dall'impianto eolico è anche dipendente dal funzionamento dell'impianto stesso ovvero dalle ore di produzione, ragion per cui in corrispondenza degli aerogeneratori è estremamente variabile nell'arco della giornata.

## 6. CAMPO MAGNETICO

L'intensità del campo magnetico generato in corrispondenza di un elettrodotto dipende dall'intensità della corrente circolante nel conduttore, con andamento inversamente proporzionale alla distanza dalla linea. È da precisare che il campo magnetico generato dall'impianto eolico è strettamente connesso alle ore di produzione, ragion per cui è estremamente variabile nell'arco della giornata e dei mesi di produzione dell'impianto.

Il campo magnetico non subisce significative modifiche da parte di materiali diamagnetici e paramagnetici, per cui non c'è alcun effetto schermante nei confronti dei campi magnetici da parte di edifici, alberi o altri oggetti vicini alla linea. All'interno di eventuali edifici privi di schermatura magnetica si può misurare un campo magnetico di intensità comparabile a quello riscontrabile all'esterno.

Il campo magnetico subisce significative modifiche da parte di materiali ferromagnetici (ferro, nichel, cobalto, alcuni metalli di transizione e loro leghe).

Le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico circostante un elettrodotto sono principalmente:

- 1) distanza dalle sorgenti (conduttori);
- 2) intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- 3) disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);
- 4) presenza di sorgenti compensatrici;
- 5) suddivisione delle sorgenti (terne multiple).

I metodi di controllo del campo magnetico si basano principalmente sulla riduzione della distanza tra le fasi, sull'installazione di circuiti addizionali nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee in cavo.

Alcuni metodi con i quali ridurre i valori di intensità di campo elettrico e magnetico per cavidotti possono essere quelli di usare "linee compatte", dove i cavi vengono avvicinati tra di loro con disposizione piana o con disposizione triangolare (trifoglio). In tal caso per effetto della reciproca vicinanza dei cavi, la compensazione delle componenti vettoriali associate alle diverse fasi conduce ad una rapida attenuazione del campo magnetico.

In merito alla fascia di rispetto per cavi interrati la norma CEI 106-11 riporta:

*"Per i cavi interrati, le differenze sostanziali rispetto alle linee aeree sono:*

- *Che essi non si dispongono secondo una catenaria ma si mantengono in pratica sempre paralleli alla superficie del terreno;*
- *Che la distanza tra i conduttori  $P$  è decisamente ridotta; questo comporta distanze  $R$  contenute rispetto al caso aereo. In relazione a ciò bisogna quindi valutare se relazioni approssimate del tipo di quelle utilizzate per le linee aeree in conduttori nudi siano ancora applicabili con un ragionevole grado di accuratezza.*

*Nel caso di cavi AT, la situazione impiantistica più diffusa è rappresentata da una terna di cavi unipolari posati ad una profondità di circa 1.2-1.8 m. I cavi possono essere posati in piano distanziati di circa 0.15-0.25 m, ovvero a contatto in piano o ai vertici di un triangolo equilatero (posa a "trifoglio").*

*Nel caso invece di cavi MT, la situazione impiantistica più diffusa è rappresentata da cavi unipolari posati ad una profondità di circa 0.8-1.2 m e disposti prevalentemente a "trifoglio" o in piano, a contatto o distanziati di circa 0.2m."*

## **6.1. FASCIA DI RISPETTO E DISTANZA PRIMA APPROSSIMAZIONE (DPA)**

La fascia di rispetto così come definita dalla norma CEI 106-11 è lo spazio circostante i conduttori di una linea elettrica aerea, o in cavo interrato, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da induzione magnetica di intensità maggiore o uguale a un valore prefissato, in particolare all'obiettivo di qualità.

La distanza di prima approssimazione (DPA) è la distanza, in pianta sul livello del suolo, della proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più di DPA si trovi all'esterno delle fasce di rispetto. Tale definizione è riportata nell'allegato al DM 29/05/2008.

## **6.2. METODOLOGIA DI CALCOLO E SOFTWARE UTILIZZATO**

Per il calcolo della fascia di rispetto così come definita precedentemente occorre che si conoscano i seguenti dati (che dovranno essere acquisiti per tratte omogenee di linea):

- Portata in corrente in servizio nominale;
- Numero e tipologia dei conduttori aerei o dei cavi interrati, loro disposizione relativa e sistema di riferimento rispetto all'asse della linea;
- Condizioni di fase relativa delle correnti elettriche.

Il modello normalizzato per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta in una sezione trasversale di una linea elettrica aerea è quello descritto dalla norma CEI 211-4, che viene considerato applicabile anche alle linee in cavo interrato.

Si tratta di un modello bidimensionale che applica la Legge di Biot-Savart per determinare l'induzione magnetica dovuta a ciascun conduttore percorso da corrente e quindi la legge di sovrapposizione degli effetti per determinare l'induzione magnetica totale, tenendo ovviamente conto delle fasi delle correnti, supposte simmetriche ed equilibrate.

Vengono assunte le seguenti schematizzazioni della linea:

- 1) Tutti i conduttori sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra di loro;
- 2) Le correnti sono considerate concentrate negli assi centrali dei conduttori aerei o dei cavi e, nel caso dei conduttori aerei a fascio, negli assi centrali dei fasci, cioè negli assi dei cilindri aventi come generatrici gli assi dei subconduttori dei fasci;
- 3) Per le linee aeree non vengono considerate le correnti indotte nelle funi di guardia in quanto il loro effetto sull'induzione magnetica è ritenuto trascurabile; analogamente per le linee in cavo interrato non si tiene conto delle correnti indotte negli schermi;
- 4) Il suolo è considerato perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico e quindi si trascurano le immagini dei conduttori rispetto al suolo, che alla frequenza industriale risultano a

profondità molto elevate.

L'impatto elettromagnetico indotto dall'impianto eolico oggetto di studio può essere determinato da:

- Cavidotti in media tensione (33kV).

Le simulazioni avverranno attraverso il software di BE Shielding MAGIC - Magnetic Induction Calculation è uno strumento per l'analisi di impatto ambientale dei campi magnetici e per la determinazione delle fasce di rispetto per linee elettriche e cabine MT, secondo quanto previsto dalla Legge Quadro n.36/2001 (esposizione ai campi magnetici della popolazione) e dal D.Lgs. 81/08 (valutazione dei rischi in ambiente lavorativo). È in grado di restituire valori puntuali di induzione elettromagnetica, oltre che grafici di andamenti nello spazio dell'induzione magnetica.

### 6.3. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI PER I CAVIDOTTI DI MEDIA TENSIONE

Ai sensi del Decreto 29 maggio 2008 e con specifico riferimento all'allegato "metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti", sono escluse dalla valutazione delle Distanze di Prima Approssimazione (D.P.A.) e delle Fasce di Rispetto, le linee in MT in cavo cordato (interrate o aeree) in quanto le fasce di rispetto hanno ampiezza ridotta, inferiori alle distanze previste dai D.M. 449/1988 e 16/01/1991.

I cavidotti in media tensione a 33 kV internamente all'area di impianto prevedono la posa di cavi trifase con struttura unipolari e conduttori disposti a trifoglio a profondità di circa 1 m.

Relativamente alle linee MT a 33 kV, sono previsti cavi unipolari del tipo ARE4H5E 18/30(36)kV con posa a trifoglio, in corrugato alla profondità di circa 1 m dal piano di rotolamento ed aventi le seguenti caratteristiche:

Caratteristiche di costruzione	
Materiale del conduttore	Alluminio
Tipo di conduttore	Corda di alluminio rotonda compatta CEI EN 60228 classe 2
Isolamento	Polietilene reticolato XLPE tipo DX3 o DX8 secondo tabella 2A della HD 620-1
Schermo	Nastro di alluminio longitudinale
Guaina esterna	Polietilene estruso PE
Colore guaina esterna	Rosso

**Tabella 4. Dati cavi MT**

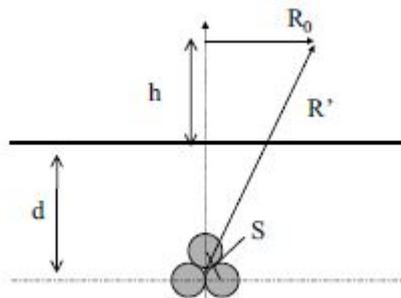
Per cavi unipolari posati a trifoglio la CEI 106-11 definisce:

*"Lo schema di posa in questo caso è illustrato nella figura 12. Si può quindi ricorrere alle relazioni approssimate viste per le linee aeree con conduttori a triangolo."*

$$B = 0.1 * \sqrt{6} * \frac{S * I}{R^2} [\mu T]$$

Considerando il limite  $B=3 \mu T$  risulta:

$$R' = 0.286 * \sqrt{S * I} [m]$$



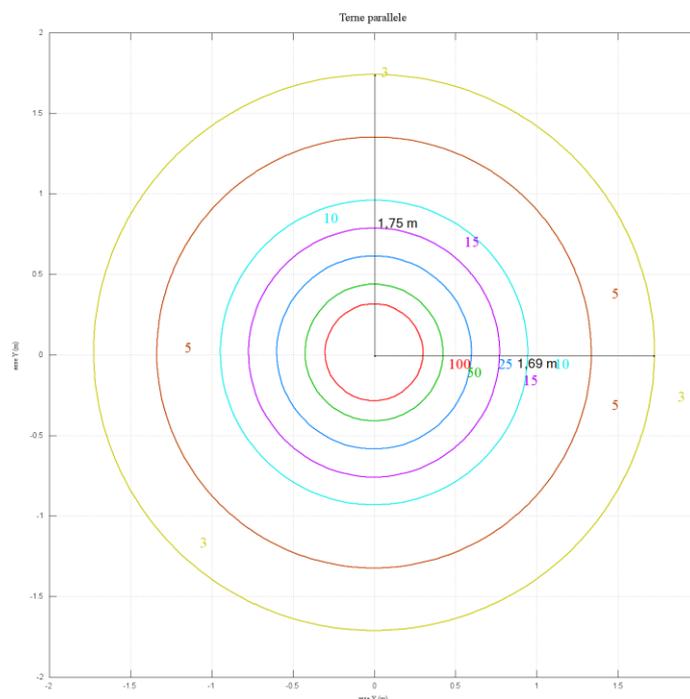
**Figura 1. Schema di principio per il calcolo delle distanze da terne di cavi interrati con posa a trifoglio oltre le quali l'induzione è inferiore all'obiettivo di qualità**

“In questo caso, la formula semplificata per il calcolo diretto della distanza  $R_0$  dall'asse della linea al livello del suolo ( $h=0$ ) oltre la quale l'induzione magnetica scende al di sotto del valore di  $3 \mu T$  è la seguente:”

$$R_0 = \sqrt{0.082 * S * I - d^2} [m]$$

Per il caso in oggetto, nel cavo da  $630\text{mm}^2$  la portata di corrente è 688 A, la profondità di posa è 1 m e la distanza tra il centro dei conduttori è 0.053 m.

Simulando tale caso si riportano i risultati tramite software si ottengono i seguenti risultati.

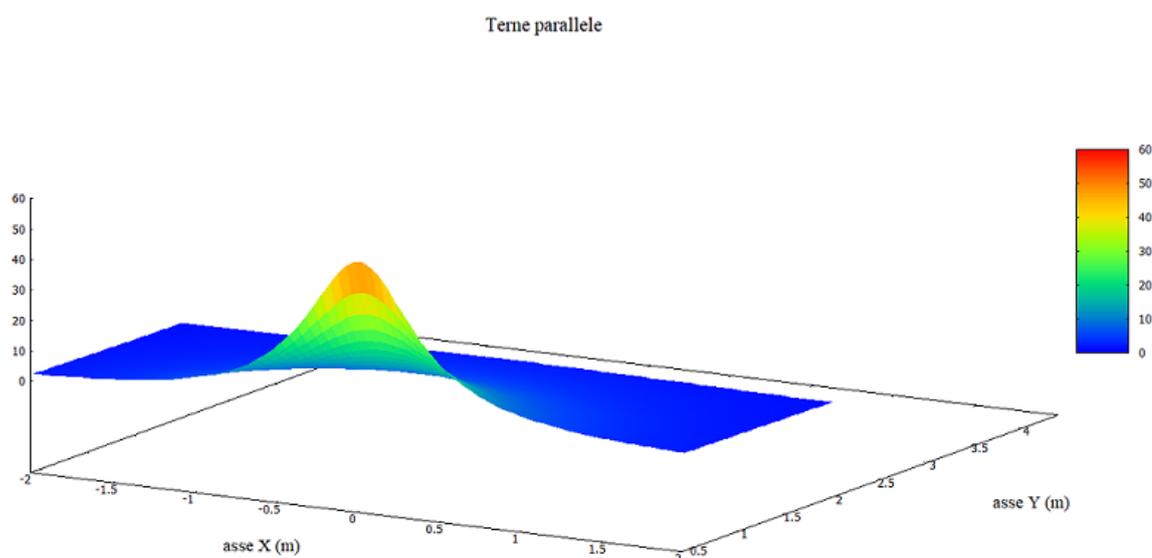


**Figura 2. Curve isolivello simulate – caso monoterna**

Tramite simulazione software (che sviluppa le equazioni in modo non approssimato), si otterrà un valore a livello del terreno un valore di induzione magnetica B pari a  $9.216 \mu\text{T}$ . Le curve di isolivello mostrano che il valore di qualità di  $3\mu\text{T}$  risulta essere a 1.75 m dalla posa dei cavi. Considerando che i cavi sono posati a 1 m dalla quota stradale, l'obiettivo di qualità si centra a distanza di 0.75 m dal livello stradale. Citando il DPCM 8 Luglio 2003 riporta nell'art.3, comma 2: *“A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di  $10 \mu\text{T}$ , da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.”*

La soglia di attenzione di  $10\mu\text{T}$ , invece, risulta essere al di sotto della quota stradale.

Il valore della DPA relativa al caso in oggetto è pari a 1.69 m, misurato dal centro dello scavo.

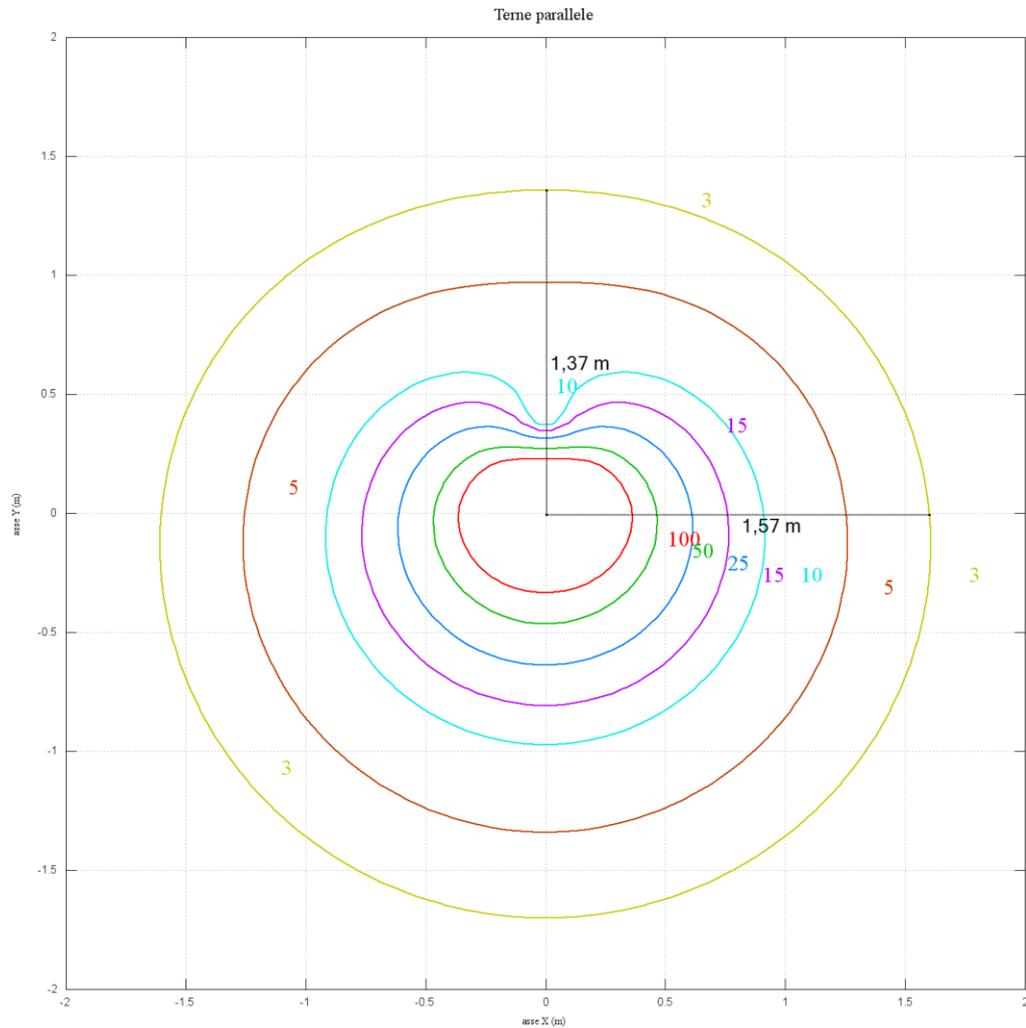


**Figura 3. Andamento 3D induzione elettromagnetica per una terna a 1m di profondità**

Nel caso di più terne, le formule approssimate necessarie per calcolare la fascia di rispetto diventerebbero più complicate di quelle precedentemente fornite. Ne deriva, di conseguenza, che affrontare il problema ricorrendo a formule approssimate non è più così conveniente.

#### - CASO CON DUE TERNE

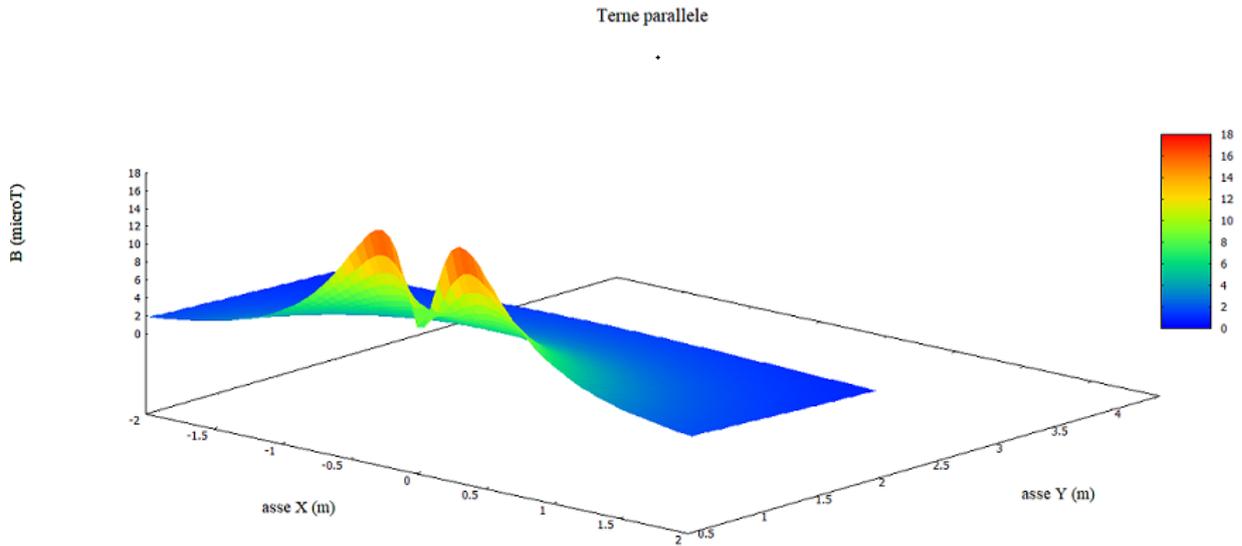
Nel caso di due terne, si analizza come al solito il caso peggiore, rappresentato da due terne una da  $630\text{mm}^2$  interrate alla profondità di 1m e distanti 0.2 m. La distanza tra i conduttori risulterà sempre la stessa ovvero 0.053 m. Le fasi saranno disposte nella seguente sequenza RST, STR. Entrambe le terne avranno una portata di 571 A.



**Figura 4. Curve isolivello - caso doppia terna**

Tramite simulazione software (che sviluppa le equazioni in modo non approssimato), si otterrà un valore a livello del terreno un valore di induzione magnetica B pari a  $4.781 \mu\text{T}$ . Le curve di isolivello mostrano che il valore di qualità di  $3\mu\text{T}$  risulta essere a  $1.37 \text{ m}$  dalla posa dei cavi. Considerando che i cavi sono posati a  $1 \text{ m}$  dalla quota stradale, l'obiettivo di qualità si centra a distanza di  $0.37 \text{ m}$  dal livello stradale. Visto che si ha la medesima situazione al riguardo del caso precedente, si evince che la soglia di attenzione di  $10\mu\text{T}$ , invece, risulta essere al di sotto della quota stradale.

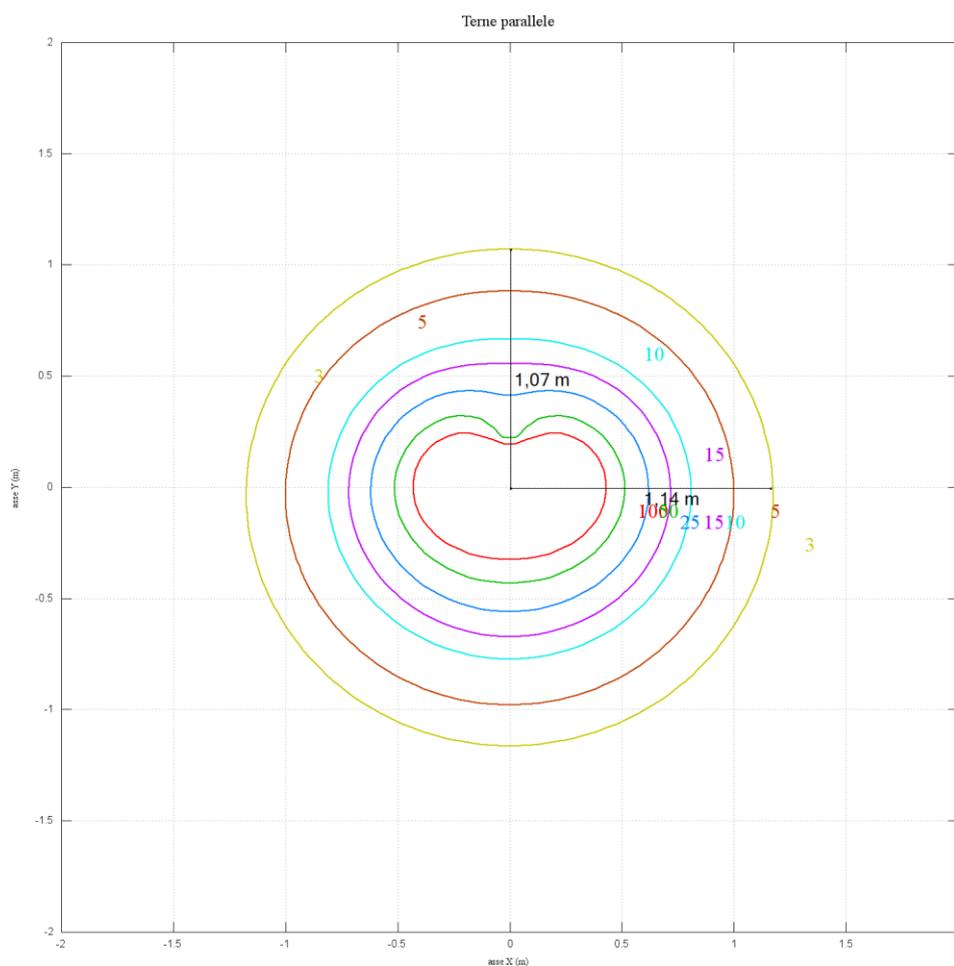
Il valore della DPA relativo al caso in oggetto è pari a  $1.57 \text{ m}$  misurato dal centro dello scavo.



**Figura 5. Andamento 3D induzione elettromagnetica per due terne interrate a 1m di profondità**

- CASO CON TRE TERNE

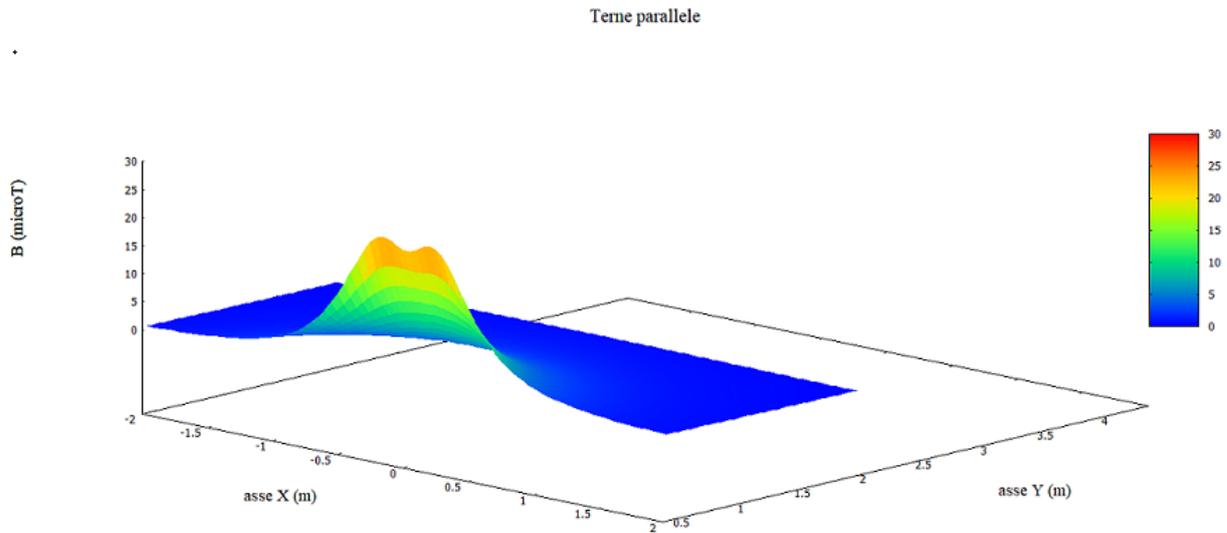
Nel caso di tre terne, si analizza come al solito il caso peggiore, rappresentato da due terne una da  $630\text{mm}^2$  interrate alla profondità di 1m e distanti 0.2 m. La distanza tra i conduttori risulterà sempre la stessa ovvero 0.053 m. Le fasi saranno disposte nella seguente sequenza RST, STR, TRS. Tutte le terne saranno percorse da una corrente pari a 502 A.



**Figura 6 . Cruve isolivello - caso tripla terna**

Dal grafico si evince come il valore di induzione al suolo risulta essere pari a  $3.592 \mu\text{T}$ . Le curve di isolivello mostrano che il valore di qualità di  $3\mu\text{T}$  risulta essere a  $1.07 \text{ m}$  dalla posa dei cavi. Considerando che i cavi sono posati a  $1 \text{ m}$  dalla quota stradale, l'obiettivo di qualità si centra a distanza di  $0.07 \text{ m}$  dal livello stradale. Visto che si ha la medesima situazione al riguardo del caso precedente, si evince che la soglia di attenzione di  $10\mu\text{T}$ , invece, risulta essere al di sotto della quota stradale.

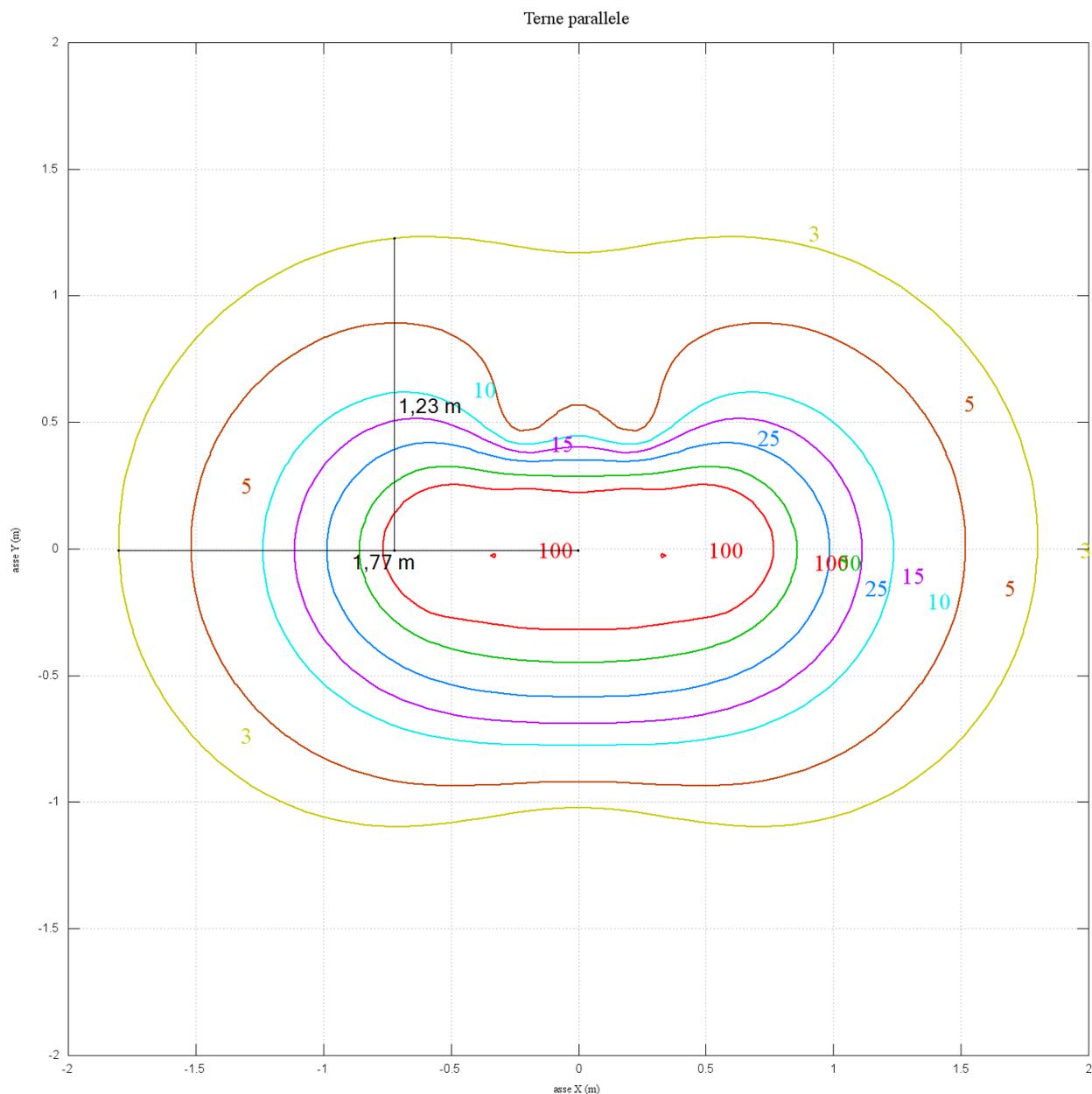
Il valore della DPA relativo al caso in oggetto è pari a  $1.14 \text{ m}$  misurato dal centro dello scavo.



**Figura 7. Andamento 3D induzione elettromagnetica per tre terne interrate a 1m di profondità**

- CASO CON QUATTRO TERNE

Nel caso di quattro terne, il caso peggiore è rappresentato da quattro terne da  $630\text{mm}^2$  interrate alla profondità di 1m e distanti 0.35m. La distanza tra i conduttori risulterà sempre la stessa ovvero 0.056m. Le fasi saranno disposte nella seguente sequenza RST, STR, TRS, RST. La portata di corrente per questo caso sarà 468 A.

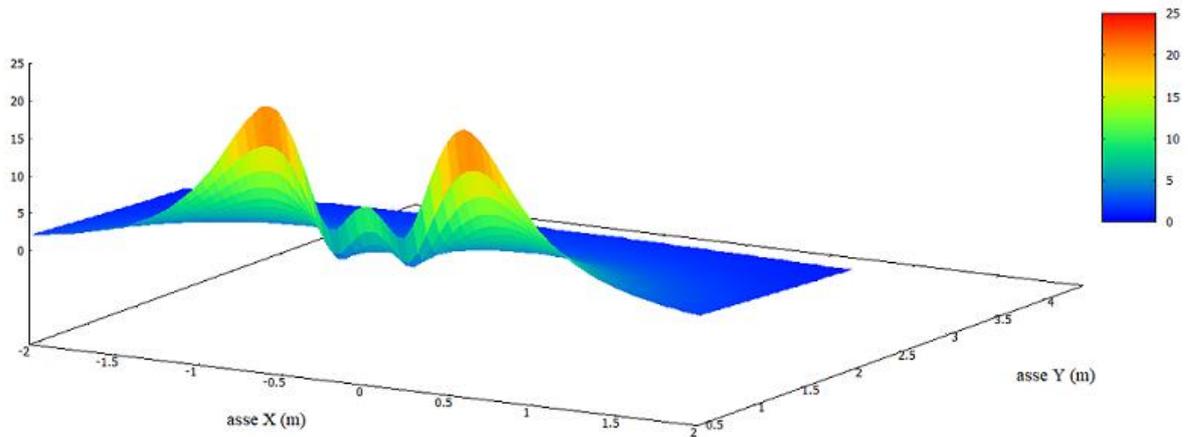


**Figura 8. Curve isolivello - caso quattro terme**

Dal grafico si evince come il valore di induzione al suolo risulta essere pari a  $3.374 \mu\text{T}$ . Le curve di isolivello mostrano che il valore di qualità di  $3\mu\text{T}$  risulta essere a  $1.23 \text{ m}$  dalla posa dei cavi. Considerando che i cavi sono posati a  $1 \text{ m}$  dalla quota stradale, l'obiettivo di qualità si centra a distanza di  $0.23 \text{ m}$  dal livello stradale. Visto che si ha la medesima situazione al riguardo del caso precedente, si evince che la soglia di attenzione di  $10\mu\text{T}$ , invece, risulta essere al di sotto della quota stradale.

Il valore della DPA relativo al caso in oggetto è pari a  $1.77 \text{ m}$  misurato dal centro dello scavo.

Terne parallele



**Figura 9. Andamento 3D induzione elettromagnetica per quattro terne interratae 1m di profondità**

#### **6.4. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI PER IL CAVIDOTTO ALTA TENSIONE**

Relativamente ai cavidotti AT a 150 kV, si prevede la posa di cavi trifase con struttura unipolare del tipo in rame con conduttori disposti a trifoglio a profondità di circa 1.6m per il collegamento in antenna della SSE 150/33 kV alla sezione 150 kV della nuova stazione di trasformazione 380/150kV della RTN da inserire in entra-esce sulla linea RTN a 380 kV "Larino-Gissi" come riportato nel preventivo STMG (Codice pratica 202002009) rilasciato da Terna. Nella stessa viene riportato che il collegamento della SSE Utente alla SE RTN costituisce impianto d'utenza per la connessione.

I cavi saranno conformi alle caratteristiche dell'allegato A3 al codice di rete TERNA.

Di seguito di riportano le caratteristiche principali del cavo per un cavo in rame a 150kV di sezione 1200mm<sup>2</sup>. Di seguito vengono riportati alcuni dati costruttivi e prestazionali del cavo.

CARATTERISTICHE FUNZIONALI DEI CAVI CON CONDUTTORE IN RAME			
Portata di riferimento [A]	Sezione conduttore [mm <sup>2</sup> ]	Corrente termica di corto circuito sullo schermo [kA]	Materiale guaina esterna
500	400	31.5	PE
800	630	31.5	PE
1000	1000	31.5	PE
1200	1200	31.5	PE
500	400	31.5	PVC
800	630	31.5	PVC
1000	1000	31.5	PVC
1200	1200	31.5	PVC

**Tabella 5. Caratteristiche cavo AT**

$U_0/U=87/150$  kV per sistemi con tensione massima  $U_m=170$  kV.

#### Anima

Conduttore a corda rigida rotonda, compatta e tamponata di rame ricotto non stagnato o alluminio. Le sezioni normalizzate dovranno essere conformi alle prescrizioni IEC 60228.

#### Isolante e strati semiconduttivi

Isolante costituito da uno strato di polietilene reticolato estruso insieme ai due strati semiconduttivi (tripla estrusione).

#### Schermo

Lo schermo metallico, in piombo o in alluminio, o a fili di rame ricotto o a fili di alluminio non stagnati opportunamente tamponati, o in una loro combinazione deve:

- Contribuire ad assicurare la protezione meccanica del cavo;
- Assicurare la tenuta ematica radiale;
- Consentire il passaggio delle correnti di corto circuito.

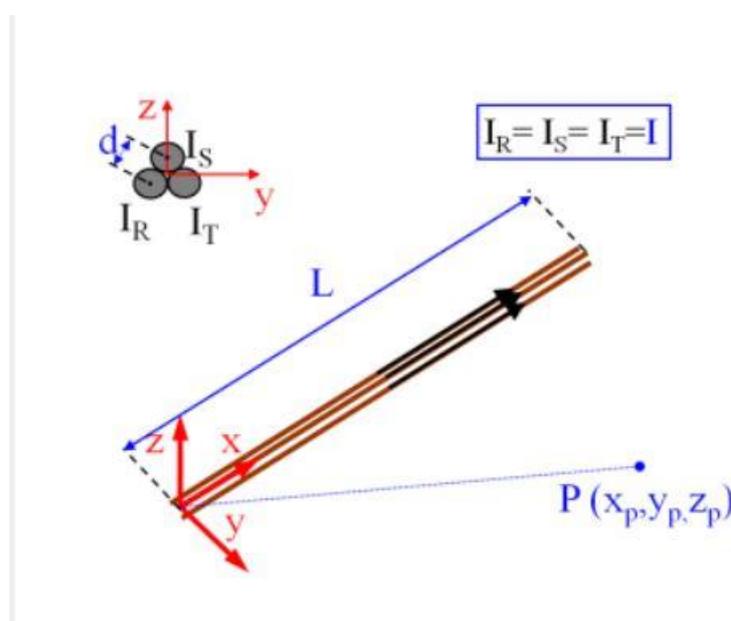
#### Guaina esterna

Il rivestimento protettivo esterno sarà costituito da una guaina di PE nera e grafitata, ovvero, quando per installazioni in aria si ritiene opportuno evitare il propagarsi della fiamma, guaina in PVC nera non propagante la fiamma o PE opportunamente addizionato.

Per il cavidotto dei cavi in alta tensione, si prevede la posa della terna con profondità di posa di 1.6m.

La condizione peggiore, oggetto della seguente analisi è per i cavi del tipo unipolare in rame sezione  $1 \times 1200 \text{mm}^2$  interessati da corrente di circa 848A nella condizione di funzionamento nominale e con modalità di posa a trifoglio. Considerando che si avrà uno stallo condiviso in cabina primaria, il dimensionamento del cavo AT è effettuato considerando la potenza disponibile dello stallo AT Terna a cui ci si collega, ovvero 220MVA. La sezione del cavo viene calcolata tenendo conto dei fattori di derating della portata dichiarata in base alle condizioni di posa.

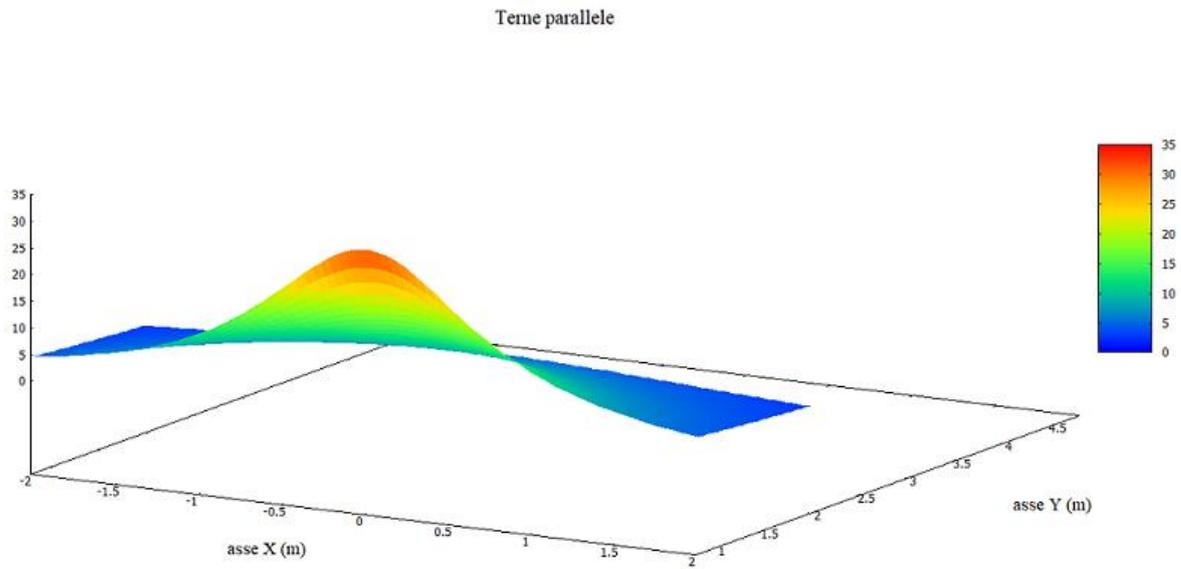
Come descritto, di seguito si rappresenta la sezione di cavidotto AT più impattante, oggetto dello studio dell'induzione magnetica B.



**Figura 10. Sistema di coordinate**

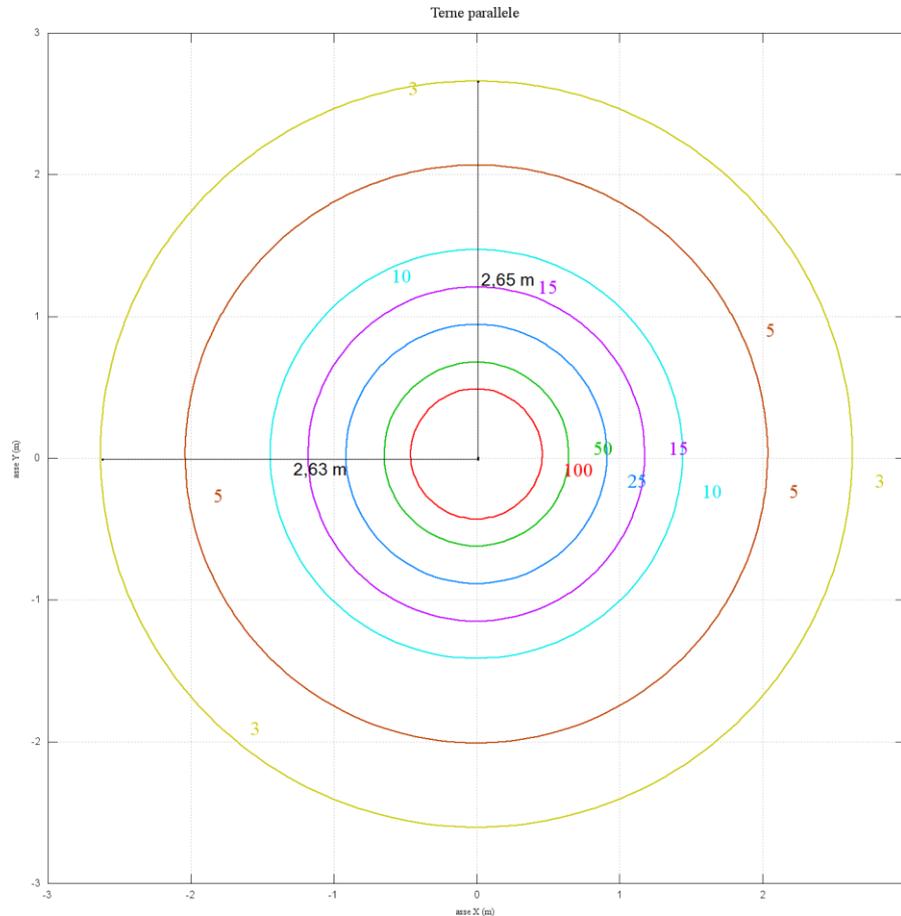
Nella figura precedente è possibile vedere i sistemi di riferimento per le coordinate usate per la simulazione. Per i grafici successivi, quindi, fare riferimento alla terna XYZ sopra indicata.

Si analizzano i valori di induzione magnetica B, per il cavo precedentemente descritto, lungo gli assi Y e Z. La verticale al cavo percorso da 848A, ha lunghezza 1.5m ovvero si analizza l'induzione magnetica B fino alla quota del piano stradale.



**Figura 11. Andamento 3D induzione elettromagnetica per una terna AT interrate a 1.6m di profondità**

Dal grafico delle curve isolivello si evince come il valore di qualità di  $3\mu\text{T}$  è ottenuto a una distanza di 2.65m sopra la terna, ovvero a una distanza di 1.05m sopra il manto stradale.



**Figura 12. curve isolivello cavo AT**

A livello stradale (quindi a 1.60 m sopra la terna) il valore di induzione magnetica è pari a 8.412  $\mu$ T. Il valore della DPA misurato a partire dal centro dello scavo risulta pari a 2.63 m.

Il DPCM 8 Luglio 2003 riporta nell'art.4 "Obiettivi di qualità": *Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3  $\mu$ T per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.*

Analizzando il percorso del cavidotto AT, si può affermare che gli ambienti abitativi più prossimi al percorso del cavidotto AT risultano a una distanza maggiore di 2.65m dalla terna (distanza per la quale si ottiene il valore di qualità), quindi il limite di qualità risulta essere rispettato.

Per le altre aree, lo stesso DPCM riporta come valore di attenzione 10  $\mu$ T per l'induzione elettromagnetica. In tutte le aree risultano quindi rispettati i limiti di qualità e di attenzione che la norma prescrive.

## 7. CONCLUSIONI

Alla luce dei calcoli eseguiti, non si riscontrano problematiche particolari relative all'impatto elettromagnetico dei componenti dell'impianto eolico in oggetto, in merito all'esposizione umana ai campi elettrici e magnetici. Successivamente alla realizzazione e all'entrata in esercizio dell'impianto potranno essere eseguite prove sul campo che dimostrino l'esattezza dei calcoli e delle assunzioni fatte.

Di seguito la tabella riassuntiva con i valori delle DPA per ogni caso analizzato:

Tipologia di scavo	Valore DPA (m)
Cavidotto MT composto da una terna di cavi da 630mm <sup>2</sup>	1.69
Cavidotto MT composto da due terne di cavi da 630mm <sup>2</sup>	1.57
Cavidotto MT composto da tre terne di cavi da 630mm <sup>2</sup>	1.14
Cavidotto MT composto da quattro terne di cavi da 630mm <sup>2</sup>	1.77
Cavidotto AT composto da una terna di cavi da 1200mm <sup>2</sup>	2.63

Lo studio condotto conferma la conformità dell'impianto dal punto degli effetti del campo elettromagnetico sulla salute umana. Per quanto concerne i cavi interrati infatti, considerati gli accorgimenti di progetto adottati, relativi a:

- minimizzazione dei percorsi della rete;
- posizionamento dei cavi di media tensione a trifoglio;

si può, nella fase attuale, escludere la presenza di rischi di natura sanitaria per la popolazione, sia per i bassi valori del campo che per assenza di possibili recettori nelle zone interessate.

Le opere elettriche in progetto e relative DPA non interessano aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e luoghi adibiti a permanenze di persone superiori a quattro ore, rispondendo pienamente agli obiettivi di qualità dettati dall'art.4 del D.P.C.M 8luglio 2003.

Il Tecnico  
Ing. Leonardo Sblendido



The image shows a handwritten signature in blue ink that reads "Leonardo Sblendido". The signature is written over a circular professional stamp. The stamp contains the following text: "INGEGNERE COSENZA" at the top, "Ingegnere" in the center, "LEONARDO SBLENDIDO" in large letters, "Laurea specialistica" below it, "Sezione A n. 1947" below that, and "Specialità: Civile-Ambientale - Industriale" at the bottom. The stamp also features a small emblem in the center.